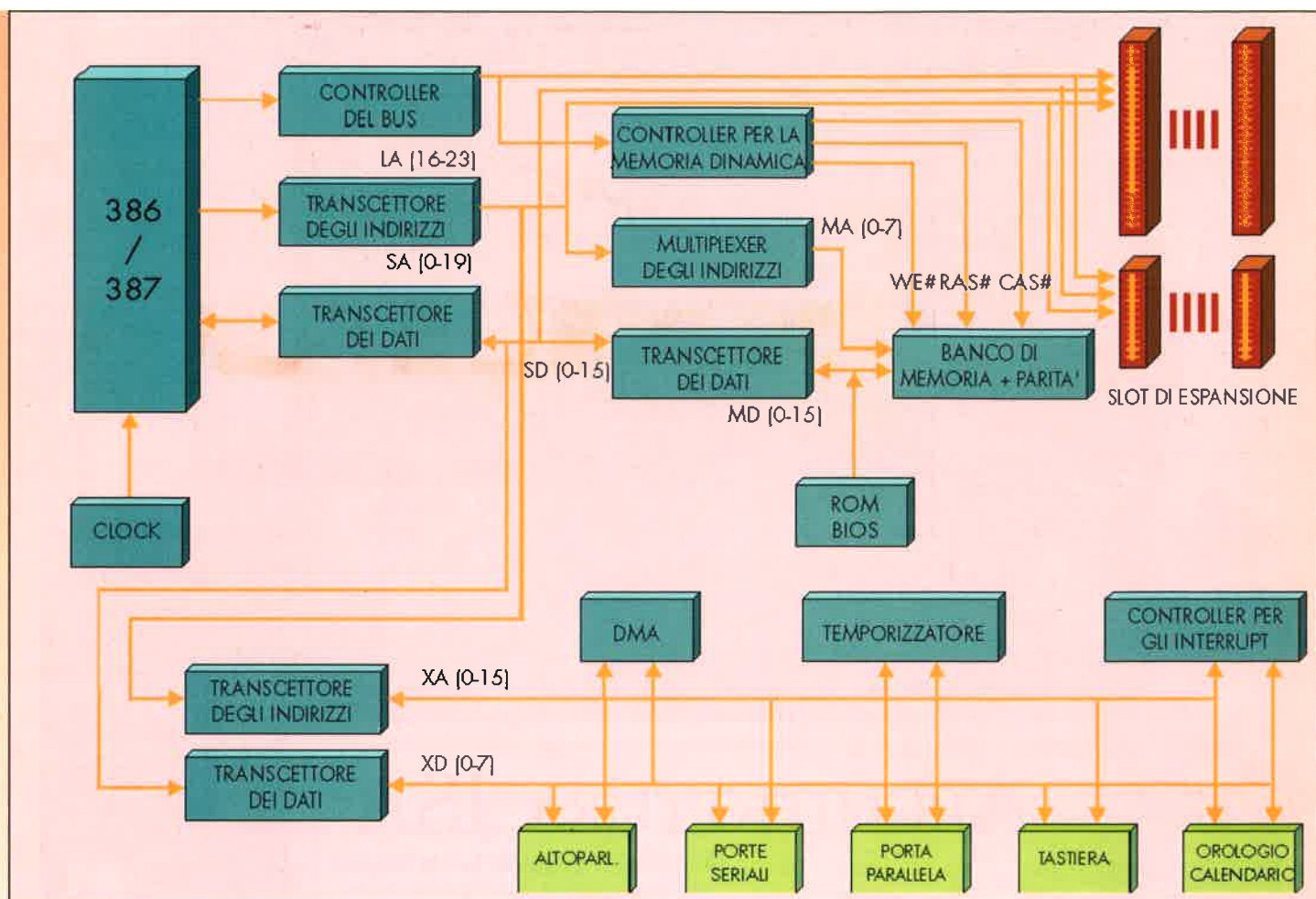
ARCHITETTURA ISA

Quando è stato presentato il primo PC progettato e prodotto dal "gigante azzurro" (IBM), nessuno avrebbe potuto immaginare che quella sarebbe diventata la pietra miliare di una industria che, qualche anno dopo, avrebbe movimentato migliaia di miliardi di lire e creato migliaia di posti di lavoro.

il segreto del bus di ingresso/uscita dei primi PC IBM procurò non pochi grattacapi a costruttori come BONDWELL, INVES, AMSTRAD e altri, che cercavano di rendere le loro apparecchiature compatibili. Infatti, si verificavano conflitti caotici tra le schede video, gli hard disk e i loro controller.
La prima architettura che, per dirlo molto semplicemente, rese possibile l'espansione del PC con schede aggiuntive fu quella montata sui PC-AT IBM. Questa può essere considerata come la prima architettura standardizzata, poiché tutti i costruttori hanno copiato dalla stessa fonte: il bus dell'IBM-AT. L'industria per fare riferimento a questa architettura ha coniato un termine,

L'architettura ISA può essere considerata come uno standard

Schema a blocchi di un calcolatore con architettura ISA e microprocessore a 32 bit

Il bus EISA è costoso ma veloce, ed è in continua espansione rispetto al bus MCA

la cui sigla è *ISA (Industry Standard Architecture, o architettura standard dell'industria)*. Questa sigla comprende tutti gli elaboratori compatibili con l'IBM-AT e con il suo bus di I/O (ingresso/uscita).
I fabbricanti di schede madri hanno però notato che l'evoluzione dei microprocessori verso prestazioni sempre superiori (che è stata estremamente rapida) ha provocato nei loro sistemi basati sui microprocessori più evoluti (ad esempio il 486) dei problemi dovuti a strozzature che impedivano un rapido trasferimento dei dati. Infatti, il microprocessore doveva attendere "lunghi" millisecondi prima di poter eseguire un programma caricato dall'hard disk, oppure perdere molto tempo nelle operazioni di refresh della memoria video. Si poneva quindi il problema di come equilibrare una macchina di questo tipo. Il primo fabbricante che si avventurò nella ricerca di un nuovo modello fu l'IBM, che propose un tipo di architettura chiamata *MCA (MicroChannel Architecture, architettura a microcanale)*. Ma gli altri costruttori non erano assolutamente intenzionati a pagare l'alto tributo economico e tecnico che imponeva l'IBM per lo sfruttamento della sua architettura, e decisero perciò di sviluppare un proprio sistema avanzato di ingresso/uscita che è stato chiamato *EISA (Extended Industry Standard Architecture, o architettura standard estesa dell'industria)*. Alla fine, chi si può proclamare vincitore di questa corsa? La risposta non può ancora essere definitiva, ma senza dubbio si può già prevedere che l'architettura ISA è destinata a scomparire nel giro di pochi anni. Il bus EISA è più costoso, ma molto veloce e in costante progresso rispetto all'MCA. Tutti gli esperti convengono sul fatto che l'architettura MCA sia migliore poiché, con una capacità teorica di trasferimento di 160 Mbyte al secondo, diventa difficilmente superabile dalle due precedenti. Tuttavia, i costruttori sono

molto reticenti su questo punto, e pensano che l'adozione dell'architettura MCA li condanni a dipendere perennemente dell'IBM. Le differenze che esistono tra il bus del PC originale, il bus dell'architettura ISA e il bus MCA sono determinanti se riferite al software del sistema operativo, ma diventano praticamente insignificanti rispetto ai programmi applicativi. Anche se tutti i software dipendono implicitamente dal funzionamento dei bus dati e indirizzi, sono pochi quelli che agiscono direttamente su di essi.

Le schede per slot di espansione a 8 bit eseguono il trasferimento dei dati a velocità inferiore

Nei primi mesi del 1992 è stato creato un consorzio, chiamato *MicroChannel Developers Association* (MDCA), formato da più di 90 aziende, tra le quali la Olivetti e la NCR, per creare uno standard aperto con caratteristiche comuni e con alcuni meccanismi di controllo che garantissero la continuità di una interfaccia comune. Per contrapposizione la IBM ha pubblicato le specifiche tecniche del bus MCA.

Una piattaforma di calcolo non è altro che un sistema di elaborazione a scrittura aperta. A questa configurazione minima si possono aggiungere altri elementi per aumentare la potenza del dispositivo e ottenere un sistema completo che soddisfi determinate esigenze. Sulla piattaforma si possono caricare i sistemi operativi sviluppati per questa architettura (DOS, UNIX, PICK, WINDOWS NT, ecc.) che permettono l'esecuzione dei programmi applicativi concreti.

INTRODUZIONE

Le due architetture più utilizzate nei personal computer si differenziano per il bus di I/O, costituito dall'insieme dei conduttori che collegano i diversi sottosistemi e attraverso i quali vengono inviati i dati, gli indirizzi, e i segnali di controllo. Questo bus svolge anche un'altra funzione molto importante, rappresentata dalla standardizzazione dell'interfacciamento tra dispositivi di sottosistemi diversi.

Il bus di I/O permette l'espansione modulare dell'elaboratore tramite l'impiego di schede aggiuntive, e sfrutta parecchi segnali del proprio microprocessore per controllare il trasferimento dei dati. Questa possibilità di ampliamento tramite gli slot di espansione permettono all'elaboratore di diventare un elemento polivalente e multifunzionale, e lo trasformano in uno *strumento*

Conversione da un bus a 32 ad uno a 8 bit

Quando il trasferimento dei dati è continuo, come per l'hard disk o la scheda video, il numero dei bit utilizzati nell'architettura ISA è 16

ARCHITETTURA STANDARD DELL'INDUSTRIA (ISA)

Questa rappresenta l'architettura attualmente più utilizzata nei PC, grazie al fatto che è stata la prima ad essere sviluppata. Sfrutta un bus fisico per gli indirizzi a 24 bit, tramite il quale è possibile indirizzare fino a 16 Mbyte (2 elevato a 24). Per i dati impiega un bus a 16 bit (una parola), ma è anche in grado di eseguire trasferimenti a 8 bit, per cui consente l'utilizzo di schede "corte" che sono state le prime ad essere prodotte per i personal compatibili XT. La zona di I/O viene

INTERRUPT	DESCRIZIONE
0	Temporizzatore
1	Tastiera
2	Gruppo degli interrupt 8-15
3	Porta seriale 2/libero
4	Porta seriale 1/libero
5	Porta parallela 2/libero
6	Controller floppy disk drive
7	Porta parallela 1/libero
8	Clock interno
9	Libero
10	Libero
11	Libero
12	Mouse/libero
13	Errore del coprocessore
14	Controller hard disk
15	Libero

indirizzata a 16 bit (che equivale a 64 Kbyte) con un bus dati a 16 bit. L'architettura ISA è stata sviluppata specificatamente per il microprocessore 80286, per cui ne rispecchia la struttura dei bus dati e indirizzi. Tuttavia, anche per i microprocessori più evoluti, quali l'80386 e l'80486, si è proseguita questa strada, e le loro schede madri sono state concepite con questa architettura. Ciò ha però provocato una serie di problemi dovuti principalmente al perfezionamento di questi processori e alla non contemporanea evoluzione della piattaforma sulla quale dovevano essere montati.

Il fatto apparentemente insignificante di montare microprocessori a 32 bit su architetture che li

L'architettura ISA è la più utilizzata attualmente nei PC, in quanto è stata la prima a essere sviluppata

universale. Ciò significa che ogni calcolatore può essere adeguatamente strutturato per una specifica funzione dotandolo semplicemente delle opportune schede di espansione necessarie allo scopo: schede di acquisizione dati per il controllo di processi industriali, schede di controllo per unità di memoria esterne come i SyQuest o i dischi magneto-ottici, schede acceleratrici per il video, schede multimediali per applicazioni professionali, ecc.

Attualmente, espandere un PC è diventata una operazione relativamente semplice ed economica se confrontata con i tempi passati.

Confronto tra i connettori di espansione delle architetture EISA e ISA

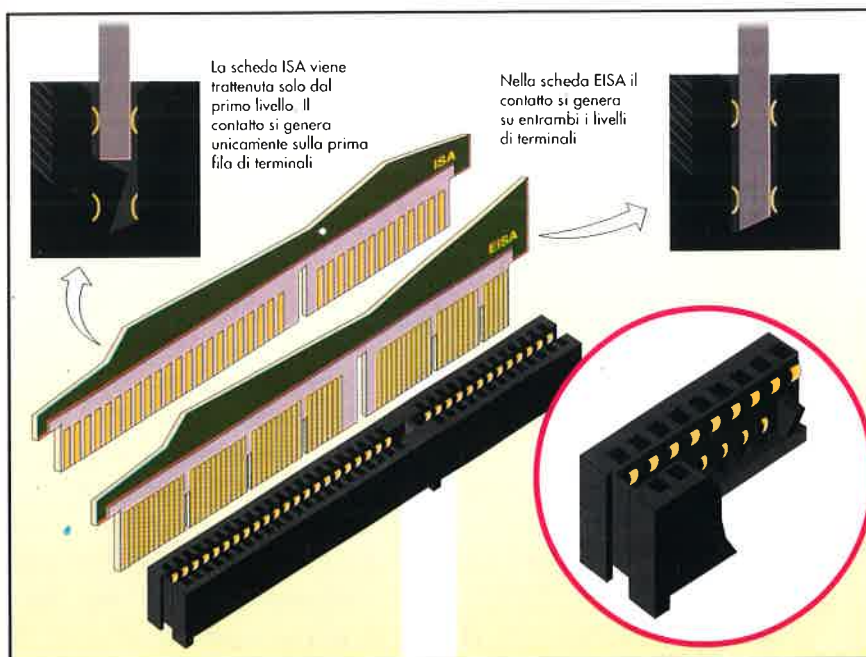
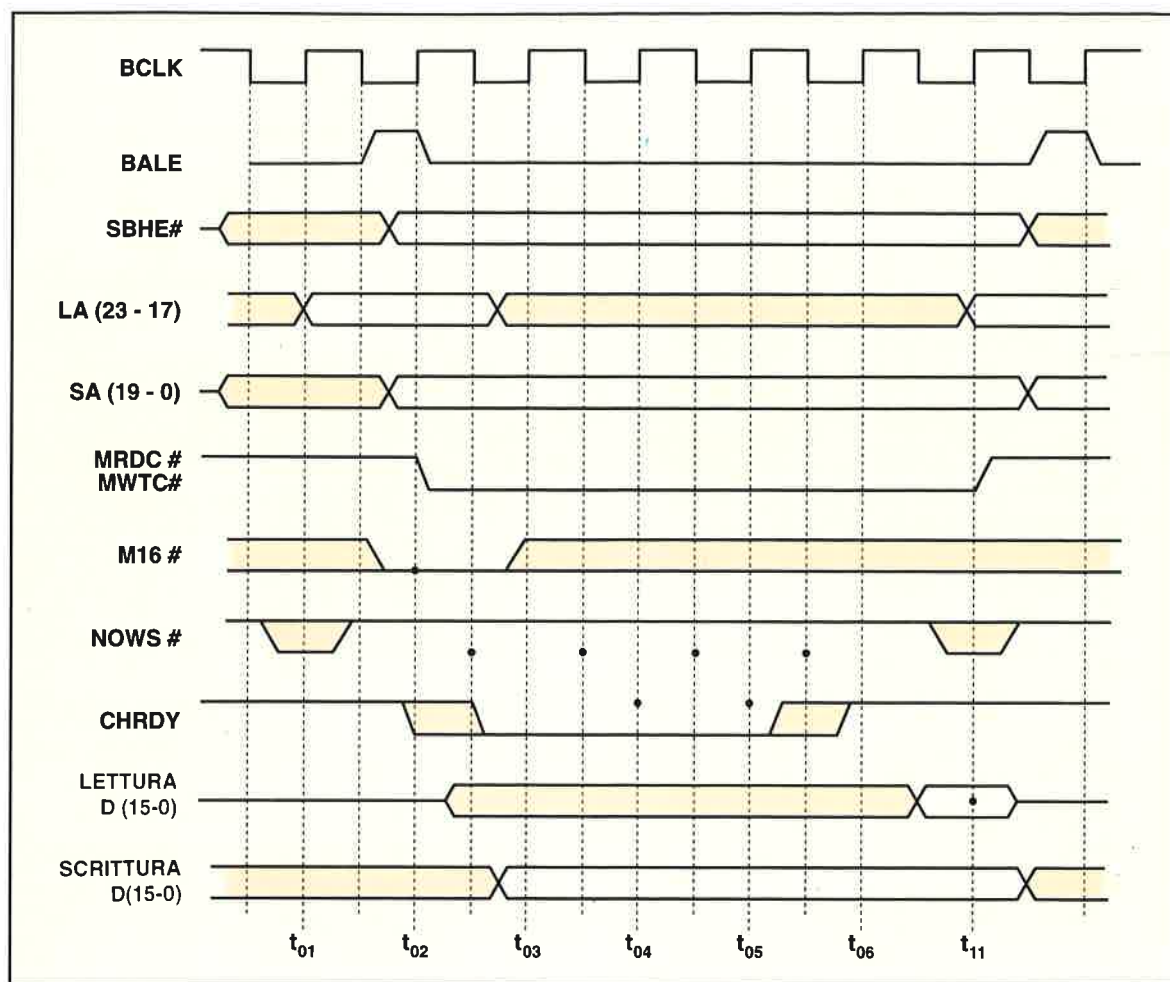



Diagramma temporale dell'accesso alla memoria in un sistema ISA

Il microprocessore risponde agli interrupt hardware allo stesso modo con cui risponde agli interrupt software

rallentavano, costituiva senza dubbio una notevole limitazione che non ha trovato soluzioni valide a causa dello sviluppo troppo rapido dell'elettronica del settore. Infatti basti pensare che l'80286 è stato immesso sul mercato nel 1984, e nell'anno successivo ha fatto la sua comparsa il primo microprocessore a 32 bit, l'80386. Le schede madri sono state adattate ai nuovi processori 386 sfruttando l'architettura ISA che, anche se non rappresentava la soluzione ottimale per ottenere il massimo rendimento dai nuovi sistemi, è stata la soluzione più veloce ed economica (un altro dei grandi orizzonti aperti per i costruttori di PC).
Questa architettura prevede che il trasferimento dei dati, che può avvenire a 8 o 16 bit in funzione del tipo di dispositivo collegato, possa essere eseguito tramite il DMA, dotato di 7 canali attivabili senza l'intervento della CPU. Le periferiche collegate agli slot di espansione comunicano con il microprocessore attraverso una gestione degli interrupt. Questi, identificabili con i numeri da 0 a 15, sono assegnati con il criterio indicato nella tabella corrispondente.

Le schede dei primi compatibili XT erano a 8 bit

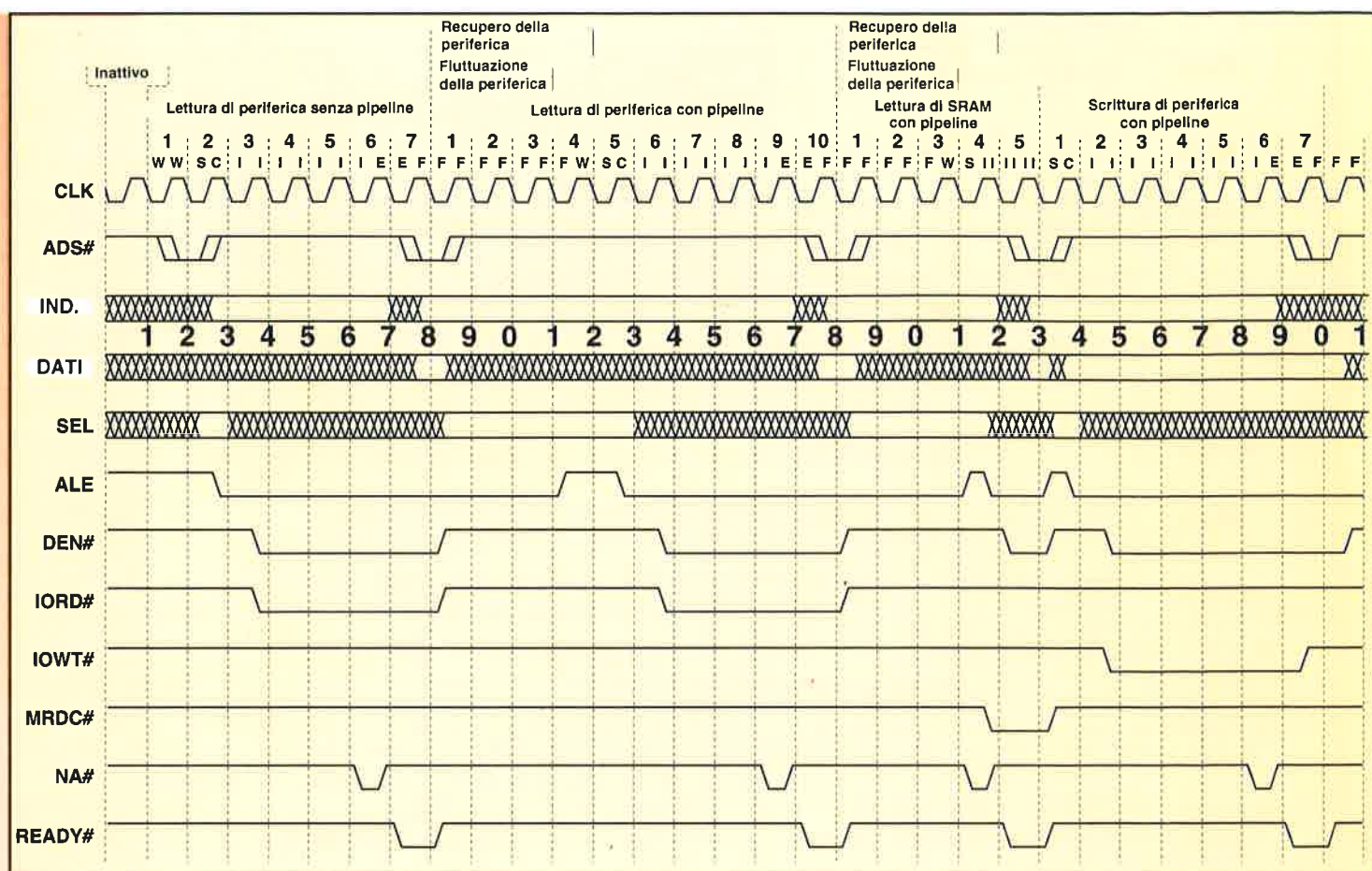



Diagramma dei tempi di I/O

GLI INTERRUPT HARDWARE

Il microprocessore risponde agli interrupt dell'hardware allo stesso modo con cui risponde agli interrupt del software, trasferendo il controllo a una routine per la loro gestione. L'unica differenza è costituita dal modo con cui viene generato il segnale di richiesta.

I dispositivi come l'orologio di sistema, l'hard disk, la tastiera e le porte di comunicazione seriale, per sollecitare la comunicazione possono generare i segnali di interrupt, chiamati *IRQ (Interrupt Request)*, su di un gruppo di linee riservate. Queste linee sono controllate dal circuito *PIC (Programmable Interrupt Controller)*, che assegna i numeri di interrupt. Quando si verifica una richiesta di interrupt da parte di un dispositivo, il PIC colloca il corrispondente numero di interrupt sul bus dati del sistema in modo che il microprocessore possa rilevarlo.

Il PIC assegna anche le priorità alle diverse richieste. Nei personal computer l'interrupt con priorità maggiore è quello corrispondente al clock di sistema, che viene inviato sulla linea di richiesta IRQ0, e al quale viene assegnato dal PIC il valore 08H. Quando il contatore del clock di sistema genera un interrupt, invia il relativo segnale su IRQ0; il PIC risponde indicando la sua presenza alla CPU, che esegue l'interrupt 08H. Se mentre viene processato questo interrupt se ne verifica un altro di tipo hardware, ma di priorità più bassa, quest'ultimo viene posto in attesa finché non viene soddisfatta la richiesta effettuata dall'interrupt con priorità maggiore.

Negli AT vengono assegnate 8 linee di interrupt addizionali ai numeri che vanno da 70H a 77H

Quando si accende l'elaboratore, e dopo che questo ha eseguito il *POST* (autotest di avvio), le routine del sistema operativo assegnano i numeri e le priorità degli interrupt hardware tramite l'inizializzazione del PIC. In apparecchiature basate sull'8086 i numeri di interrupt da 08H a 0FH vengono assegnati ai livelli di richiesta IRQ0-IRQ7. Negli AT vengono assegnate 8 linee di

interrupt addizionali ai numeri di interrupt da 70H a 77H.

Segnali del bus ISA

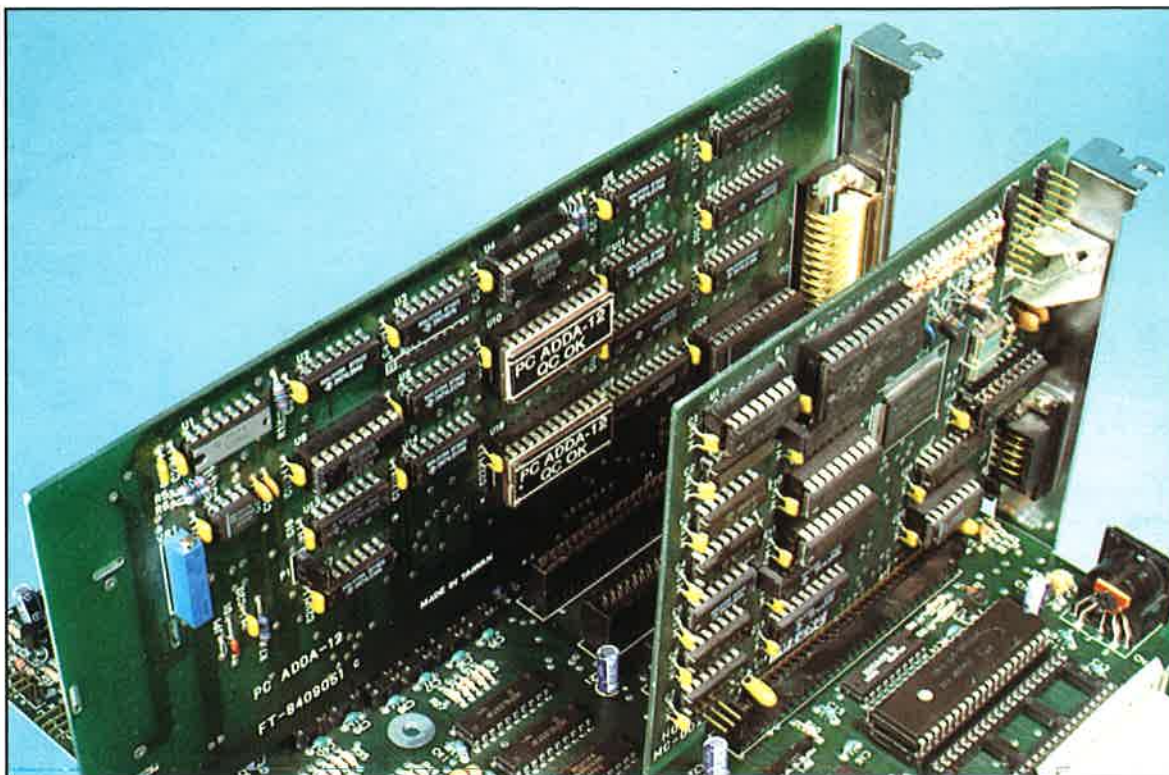
I segnali che appartengono al bus dell'architettura ISA possono essere suddivisi nei seguenti gruppi:
- *indirizzamento,*
- *dati,*
- *controllo dei cicli,*
- *controllo centrale,*
- *interrupt,*
- *DMA,*
- *alimentazione.*

Esistono in commercio diverse schede per espandere il proprio PC

Gli indirizzi vengono a loro volta suddivisi in altri due sottogruppi:
* *indirizzi di sistema (System Address SA19-SA0),*
* *indirizzi liberi (LA23-LA17)*

Il segnale BALE ha il compito di confermare gli indirizzi sul bus; gli indirizzi di sistema vengono confermati dal fronte di discesa di questo segnale, e possono indirizzare sino a 1 Mbyte di memoria (20 linee fisiche). Gli indirizzi LA23-LA17 estendono l'indirizzamento fino a 16 Mbyte. le linee di indirizzo superiori al 15 rimangono a zero durante i cicli di I/O che indirizzano 64 Kbyte.
Il bus dati a 16 bit può trasferire informazioni da e verso dispositivi che lavorano con una larghezza di parola di un byte (8 bit). Per ottenere questa funzione è necessario confermare prima il byte inferiore (byte pari, SD7-SD0) portando la linea di indirizzo A0 a livello basso, e successivamente il byte superiore (byte dispari, SD15-SD8) portando anche la linea SBHE# a livello basso. In questo modo si multiplexa il bus, e ogni parola da 16 bit viene trasferita in due cicli.
Il prezzo che si deve pagare per la compatibilità con questo tipo di schede è la perdita di velocità nel trasferimento dei dati. Questa tecnica di multiplazione viene sfruttata anche per il trasferimento da un bus a 32 bit (quello di un 386) ad uno a 8 bit tramite il DMA, che commuta dalla trasmissione di byte alla trasmissione di blocchi verso i dispositivi di I/O a 8 bit rappresentati in memoria.
Lavorando con processori a 32 bit il segnale BS16# (*Bus Size 16*, o dimensione del bus 16) deve essere generato dal decodificatore di indirizzi, in modo che il microprocessore esegua un ciclo di bus a 16 bit.
Il controllo dei cicli comprende i segnali MRDC# (*Memory Read Command*) e MWTC (*Memory Write Command*), rispettivamente per i cicli di lettura e scrittura in memoria. I segnali corrispondenti per i cicli di I/O

Le linguette metalliche del connettore femmina hanno la doppia funzione di collegare elettricamente le piste del connettore maschio e di fissare perpendicolarmente la scheda

Le linee di indirizzo superiori a 15 rimangono a zero durante i cicli di I/O che indirizzano 64 Kbyte

L'inserimento di una qualsiasi scheda sulla scheda madre deve essere eseguito con molta cura per evitare possibili danneggiamenti

sono chiamati IORC# *(Input/Output Read Command)* e IOWC# *(Input/Output Write Command)*. I segnali M16# *(Memory 16)* e IO16# *(Input/Output 16)* indicano rispettivamente trasferimenti a 16 bit con la memoria e con il sistema di I/O. Con i segnali CHRDY e NOWS# si aumentano o si diminuiscono i cicli di accesso per dispositivi più o meno lenti. I segnali per il controllo centrale comprendono quello di clock e quello di gestione del bus. Il segnale BCLK *(Bus Clock)* a 8 MHz corrisponde al clock di sistema, con un ciclo di lavoro del 50%. Il segnale OSC *(Oscillator)* con frequenza di 14,31818 MHz è utilizzato per la temporizzazione e non è sincronizzato con nessun altro clock del bus.

Collegamenti

Di seguito vengono riportate le assegnazioni dei segnali per una scheda collegabile ad uno slot di espansione ad 8 bit. Nella tabella vengono indicate le sigle dei segnali, il loro pin-out, e se sono di ingresso e/o di uscita.

Sulle schede madri attuali sono presenti slot di espansione con bus da 8, 16 e 32 bit

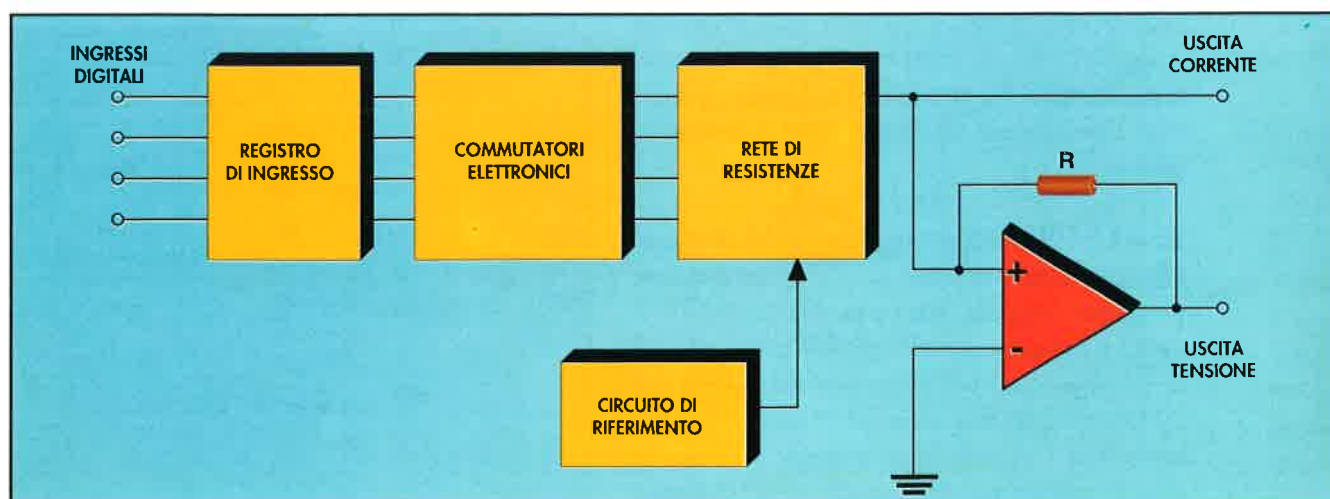
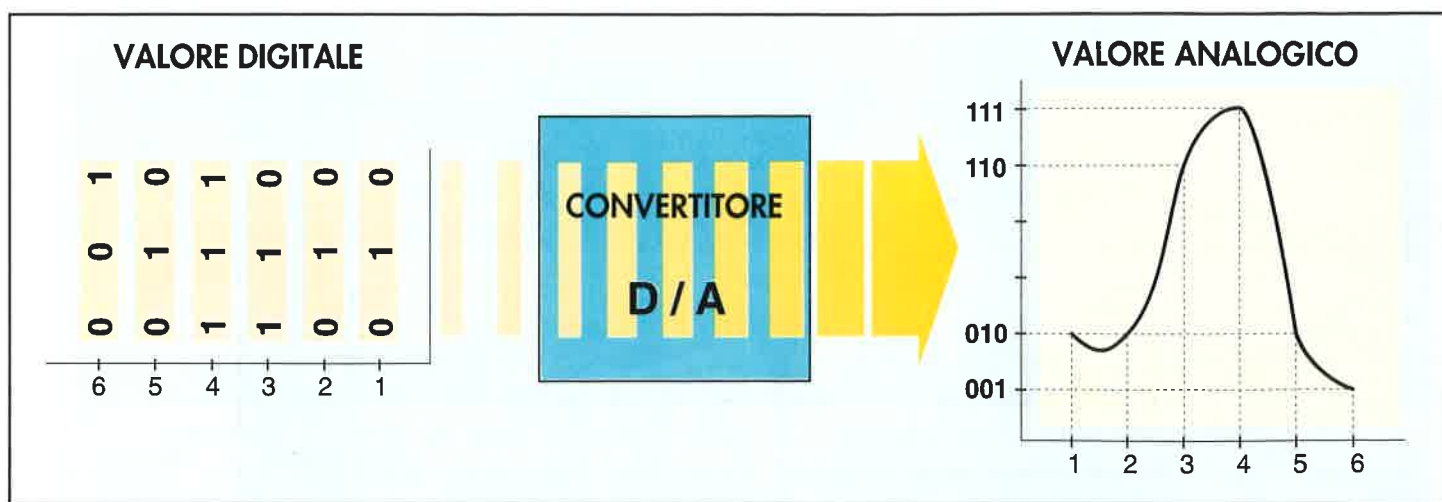
Generalmente sulle schede madri attuali sono presenti slot ad 8, 16 e 32 bit, in modo da garantire all'utente una vasta gamma di soluzioni per espandere il proprio elaboratore.

I/O	SEGNALE	LATO B	LATO A	SEGNALE	I/O
I/O	GND	B1	A1	/IOCHCK	I
O	RSTDRV	B2	A2	SD7	I/O
I	+5V	B3	A3	SD6	I/O
I	IRQ9	B4	A4	SD5	I/O
I	+5V	B5	A5	SD4	I/O
I	DRQ2	B6	A6	SD3	I/O
I	+12V	B7	A7	SD2	I/O
I	/OWS	B8	A8	SD1	I/O
I	+12V	B9	A9	SD0	I/O
I/O	GND	B10	A10	IOCHRDY	I/O
O	/SMEMW	B11	A11	AEN	O
O	/SMEMR	B12	A12	SA19	I/O
O	/IOW	B13	A13	SA18	I/O
O	/IOR	B14	A14	SA17	I/O
O	/DACK3	B15	A15	SA16	I/O
I	DRQ3	B16	A16	SA15	I/O
O	/DACK1	B17	A17	SA14	I/O
I	DRQ1	B18	A18	SA13	I/O
I/O	/MEMREF	B19	A19	SA12	I/O
O	SYSCLK	B20	A20	SA11	I/O
I	IRQ7	B21	A21	SA10	I/O
I	IRQ6	B22	A22	SA9	I/O
I	IRQ5	B23	A23	SA8	I/O
I	IRQ4	B24	A24	SA7	I/O
I	IRQ3	B25	A25	SA6	I/O
O	/DACK2	B26	A26	SA5	I/O
O	TC	B27	A27	SA4	I/O
O	BUSALE	B28	A28	SA3	I/O
I	+5V	B29	A29	SA2	I/O
O	OSC	B30	A30	SA1	I/O
I/O	GND	B31	A31	SA0	I/O

Convertitori D/A

Proseguendo la trattazione della famiglia dei convertitori, in questo capitolo vengono esaminati dei sistemi che accettano come segnale di ingresso una informazione di tipo digitale e la trasformano, o la convertono, in una tensione o corrente analogica. Questi sistemi sono chiamati convertitori digitali/analogici o D/A.

La conversione D/A è un processo che consente di trasformare un segnale digitale, formato da un insieme di diversi bit, in un segnale analogico o continuo. Partendo dal presupposto che la parola di ingresso sia costituita da *n* bit, complessivamente si possono ottenere 2^n possibili combinazioni diverse.
A ciascuna di queste combinazioni si fa corrispondere un livello di tensione o corrente in uscita. In questo modo, in funzione di come si susseguono i diversi valori digitali in ingresso, si ottiene in uscita un segnale analogico variabile ma continuo.
Come già detto per i convertitori analogico/digitali nel capitolo precedente, a un maggior numero di livelli corrisponde una maggior precisione dell'andamento del segnale analogico che deve essere convertito. Infatti, il segnale di uscita si ottiene dai valori discreti presenti in ingresso; più è elevato il numero di questi valori, migliore è la linearità della curva di uscita, la cui forma assumerà un andamento sempre più progressivo e con un minor numero di scalini.

Schema a blocchi di un convertitore digitale/analogico

Il compito di un convertitore D/A è quello di trasformare il segnale proveniente da un circuito digitale in valori analogici che possono essere misurati fisicamente

Se ad esempio si considera un segnale che presenta un intervallo tra due picchi di valore A, e si desidera eseguire la sua campionatura su N livelli, ogni scalino avrà una dimensione pari al rapporto tra il valore A e il numero dei livelli N. La quantità di bit che sono necessari per poter esprimere tutti i valori compresi nell'intervallo A si determina con la relazione:

$$N<2^B$$

dove N è il numero dei livelli e B è il numero di bit richiesto.
Considerando semplicemente la funzione sviluppata da un convertitore digitale/analogico, questa espressione diventa:

$$\text{Uscita} = 1/2A + 1/4B + 1/8C + \ldots + 1/2N\ Z;$$

che viene applicata ai diversi bit di ingresso, nella quale A rappresenta il bit più significativo e Z il meno significativo.
Se si desidera lavorare con valori di uscita positivi e negativi, bisogna utilizzare un bit esclusivamente per il segno. Per ottenerlo è sufficiente moltiplicare l'espressione precedente per il fattore seguente:

$$1 - 2X$$

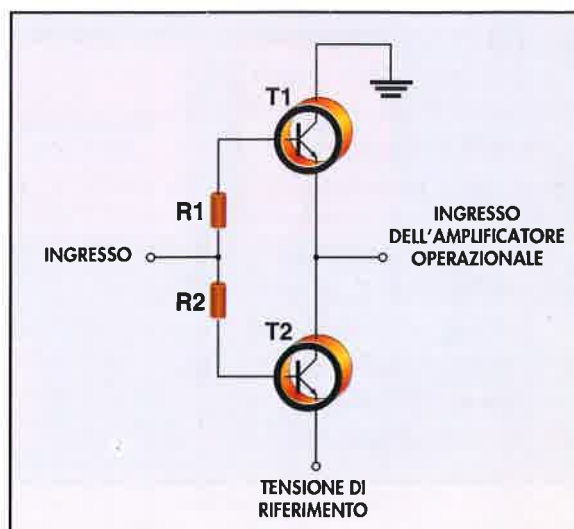
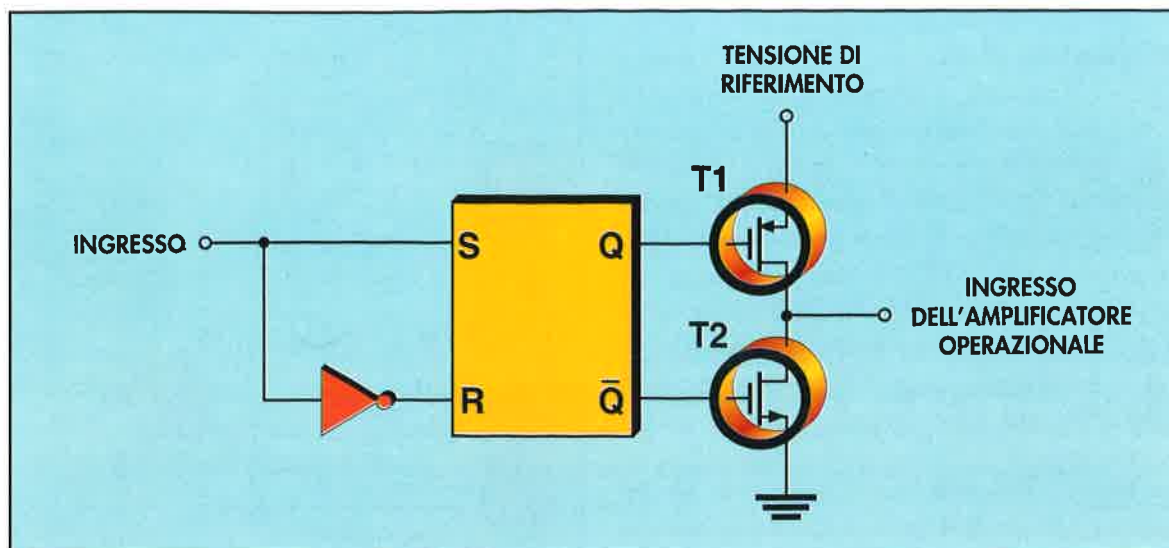
dove X è il valore che rappresenta il bit di segno. Infatti, quando si imposta ad 1 in uscita si ottiene un valore negativo, mentre se si imposta a 0 in uscita è presente un valore positivo.
Di conseguenza, nell'equazione del convertitore D/A l'uscita può assumere valori positivi compresi tra 0 e 1 oppure, aggiungendo il fattore di identificazione del segno, anche valori compresi tra -1 e 0.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Poiché i diversi modelli di convertitori D/A verranno descritti nei capitoli successivi, in queste pagine viene analizzato solamente il circuito fondamentale, nel quale si possono apprezzare e valutare i componenti che vengono utilizzati per la realizzazione dei diversi modelli. I blocchi che compongono un convertitore A/D sono:

- *registro di ingresso,*
- *commutatori elettronici,*
- *rete di resistenze,*
- *circuito di riferimento.*

La funzione del registro di ingresso è quella di mantenere disponibile il segnale di ingresso per un periodo di tempo sufficientemente lungo per

Circuito commutatore realizzato con transistor bipolari

I commutatori elettronici costruiti in tecnologia CMOS comprendono anche dei circuiti bistabili

poter eseguire la conversione. Inoltre, quando i dati giungono in serie, il registro li presenta in parallelo alla fase successiva.

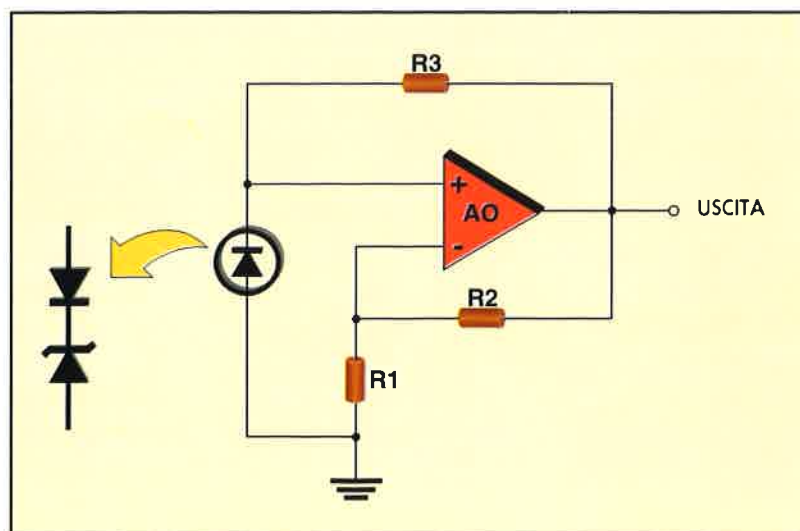
Il blocco dei commutatori elettronici è costituito da interruttori che hanno il compito di collegare una resistenza a terra o alla tensione di riferimento.

Generalmente in questi convertitori esiste una resistenza di ingresso reale, che teoricamente dovrebbe essere nulla, che deve essere considerata come appartenente alla rete resistiva. Questa condizione non provoca errori di funzionamento; il problema diventa invece critico a causa delle variazioni che possono subire queste resistenze in funzione della temperatura.Quando le variazioni assumono una rilevanza considerevole, diventa necessaria la loro compensazione. Alcuni convertitori impiegano per la commutazione dei transistor bipolari, ma le prestazioni migliori si ottengono utilizzando la tecnologia MOS. Nelle figure corrispondenti si possono osservare gli schemi relativi ai due modelli. In particolare, nel circuito costruito in tecnologia MOS si può notare la presenza di un bistabile, per cui l'uscita del commutatore risulta collegata alla tensione di riferimento tramite un transistor MOS in conduzione.

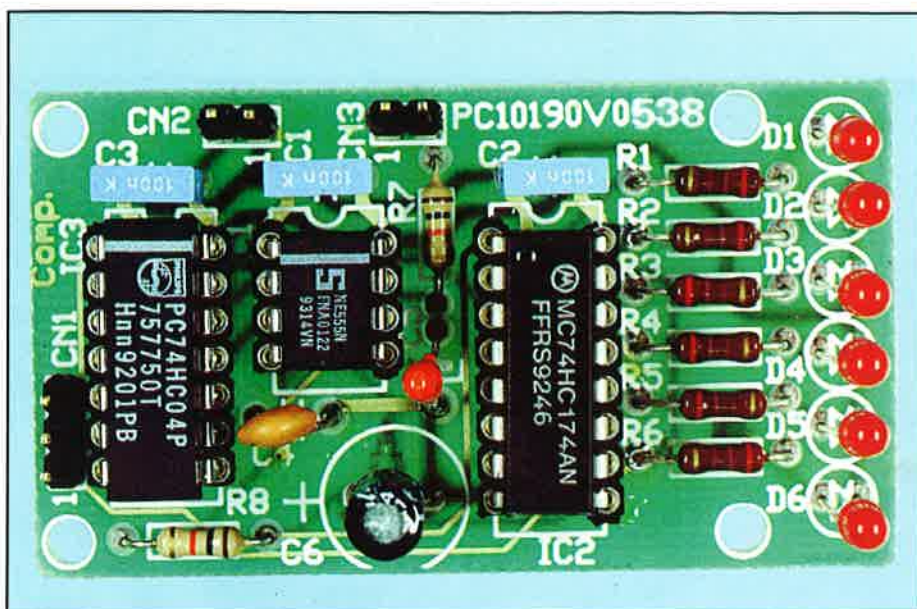
Il blocco resistivo è formato da una rete di resistenze che vengono collegate in modo indipendente alla tensione di riferimento tramite i commutatori elettronici. Questo blocco rappresenta l'elemento che più di ogni altro differenzia i diversi modelli di convertitori D/A. Come si vedrà successivamente, la distribuzione delle resistenze è fondamentale per il funzionamento dei convertitori.

A questa rete di resistenze viene associato il circuito di riferimento. Questo blocco serve per mantenere un riferimento stabile indipendente dalla possibili variazioni della tensione, della corrente o della temperatura.

Anche se esistono diversi sistemi per realizzarlo, quello più utilizzato è formato da un diodo zener

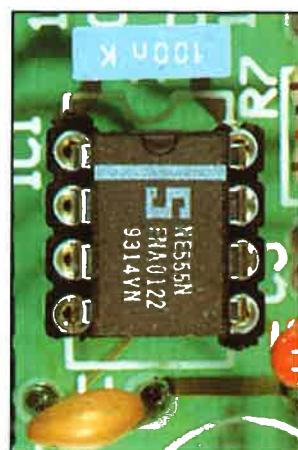
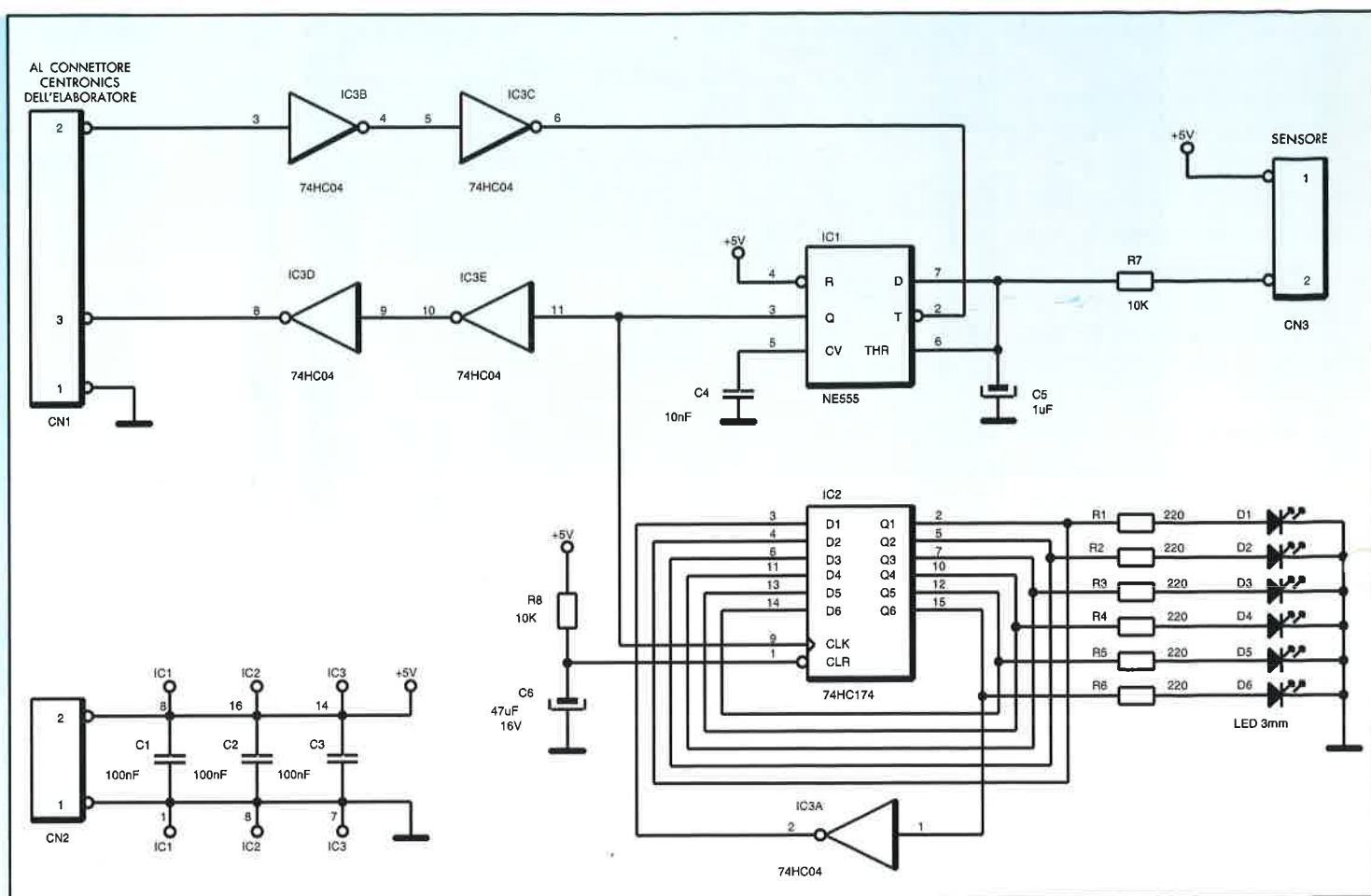
Per il circuito di riferimento si utilizzano diodi zener compensati in temperatura

compensato in temperatura, che si ottiene ponendo in serie allo zener polarizzato inversamente un diodo polarizzato direttamente. La variazione della tensione con la temperatura è approssimativamente uguale e di segno opposto in entrambi i dispositivi, per cui la risultante vale circa zero.
Uno dei circuiti più classici, rappresentato nella figura corrispondente, prevede l'utilizzo di un amplificatore operazionale che serve da eccitatore e che consente di ottenere una tensione di riferimento superiore al valore della tensione di zener.
I parametri più importanti dei convertitori D/A sono i seguenti:
risoluzione; che definisce il numero di bit del segnale digitale di ingresso e conseguentemente il numero di valori distinti del segnale analogico di uscita. Un convertitore a 10 bit può fornire in uscita 2^{10} ovvero 1024 valori distinti, per cui l'escursione minima della tensione di uscita è 1/1024 del valore massimo, che corrisponde ad una risoluzione di 1/1024 ovvero dello 0,1% circa;
precisione: che fornisce la differenza tra il valore del segnale analogico di uscita reale e quello ideale per un determinato codice di ingresso. Questo parametro è influenzato dagli errori di linearità, di guadagno e di offset degli elementi circuitali interni;
linearità: che esprime la massima deviazione della curva di trasferimento reale da quella ideale. In un DAC ideale, incrementi uguali del dato digitale di ingresso devono produrre incrementi uguali del segnale analogico di uscita. Di conseguenza, la curva di trasferimento ingresso-uscita deve essere rappresentata da una retta. L'errore di linearità esprime proprio la deviazione della curva di trasferimento reale da questa retta ideale;
tempo di assestamento: definito come il tempo necessario perché il segnale analogico in uscita si assesti dopo che si è verificata una commutazione degli ingressi. Questo parametro è influenzato dalle inevitabili capacità e induttanze parassite del circuito, e dalle caratteristiche dei commutatori;
sensibilità alla temperatura: legata alla deriva termica degli elementi interni, influenza quasi tutti gli altri parametri. Per questo motivo i costruttori forniscono tra le diverse specifiche anche i coefficienti termici di linearità, di offset, di guadagno, ecc.
Se i dati digitali di ingresso possono essere forniti nei diversi formati già conosciuti, quali il binario naturale, il complemento ad uno, il complemento a due, il BCD, ecc., in uscita la scelta è limitata a valori analogici di tensione o corrente. Generalmente viene fornita una corrente che viene convertita in una tensione mediante un amplificatore operazionale esterno; in alcuni casi questo operazionale è già compreso nell'integrato DAC.

I formati dei segnali di uscita possono essere modificati in funzione dei circuiti utilizzati

Esistono diversi metodi, sfruttati anche nei convertitori A/D, per rappresentare l'informazione numerica in modo digitale

MONITOR BIOLOGICO

Finora il calcolatore è stato considerato esclusivamente come uno strumento di lavoro e come un dispositivo di controllo per i diversi circuiti che sono stati presentati nei capitoli precedenti.

In effetti, sono molti coloro che utilizzano il calcolatore durante la giornata lavorativa per eseguire calcoli, lavorare con fogli elettronici, editori di testo, ecc., ignorando che può servire anche per applicazioni molto diverse. In pratica, l'impiego del calcolatore non si limita al mondo lavorativo; prova di ciò è il circuito che viene proposto di seguito, che rappresenta un monitor a reazione biologica.

La reazione biologica *(biofeedback)* è il processo di monitoraggio di una funzione biologica che serve per rilevare il grado di stress, e successivamente presentare questa informazione in tempo reale. Utilizzando questa informazione è possibile analizzare ciò che accade durante la fase di rilassamento, e scoprire quale è il sistema più efficace per ogni individuo. In questo modo si possono applicare le tecniche più efficienti per combattere la tensione che giornalmente si accumula.

Il circuito presentato è un monitor di reazione biologica

Schema elettrico generale. L'impulso generato dall'innesco di IC1 viene misurato dal PC e provoca l'accensione dei diodi LED

Quando un essere umano comincia a rilassarsi, la traspirazione diminuisce con un conseguente aumento del valore resistivo della pelle

Una funzione biologica che indica il grado di stress, il cui nome non proviene dalla terminologia medica, è la risposta galvanica della pelle generalmente chiamata *GSR (Galvanic Skin Response)*. Questa funzione è semplicemente una misura della resistenza elettrica che presenta la pelle. La velocità di traspirazione degli esseri umani aumenta in funzione dell'aumento dello stress, e ciò provoca di conseguenza una diminuzione della resistenza cutanea. Nella successiva fase di rilassamento la traspirazione diminuisce, e di conseguenza aumenta nuovamente la resistenza della pelle. Le variazioni della funzione GSR sono un preciso indicatore biologico dello stato di tensione o di rilassamento in cui ci si trova in un qualsiasi momento. Se si utilizza un elaboratore per memorizzare le variazioni di questa funzione durante un determinato periodo di tempo, è possibile osservare graficamente la validità dei propri metodi di rilassamento.

MISURA DELLA FUNZIONE GSR

Il metodo più semplice per eseguire la misura di una funzione GSR è quello di utilizzare uno strumento analogico in grado di rilevare i valori di resistenza, come ad esempio un ohmmetro.
Purtroppo un dato di tipo analogico non può essere utilizzato direttamente da un elaboratore, per cui deve essere digitalizzato per mezzo di una circuiteria piuttosto complessa e dal costo considerevole.
Per evitare di affrontare un discorso troppo impegnativo si sono studiati sistemi di misura più semplici.
Uno di questi prevede l'impiego di un circuito che genera impulsi digitali, la cui durata varia in funzione della resistenza della pelle; in questo modo si può utilizzare un personal computer per misurare la durata dell'impulso, e associare a questo tempo un valore di resistenza.

SCHEMA ELETTRICO

Anche se il circuito è molto semplice, bisogna sempre verificare la corretta posizione dei componenti

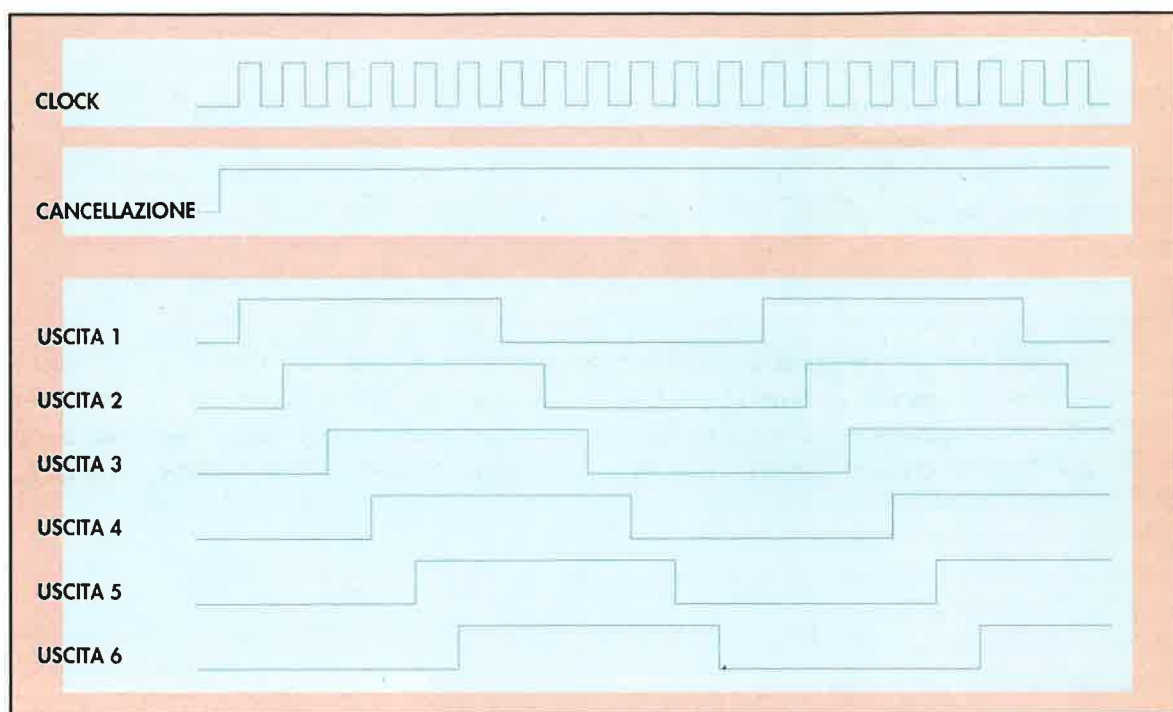
Nella figura corrispondente si può osservare la semplicità dello schema elettrico del monitor biologico, nel quale si possono distinguere le due parti principali che lo compongono: il *circuito generatore di impulsi* e il *circuito relativo al registro.*

Il generatore di impulsi, basato sul circuito integrato IC1, ha il compito di generare l'impulso la cui durata deve essere misurata. Il circuito integrato IC1 è costituito dal temporizzatore 555 configurato come monostabile. Ogni volta che riceve in ingresso un segnale di innesco, sulla sua uscita compare un impulso. La durata di quest'ultimo è determinata dal prodotto tra la capacità C5 e la resistenza formata da R7 e dalla resistenza della pelle prelevata agli ingressi di misura 1 e 2 del connettore CN3. Poiché C5 e R7 sono costanti, qualsiasi variazione di durata dell'impulso dipende direttamente dalla variazione del valore della resistenza applicata agli ingressi del connettore CN3, che corrisponde alla variazione della resistenza della pelle.

Il collegamento alla porta parallela viene realizzato con un connettore a 25 terminali

La generazione dell'impulso si ottiene semplicemente innescando il monostabile in modo che il suo terminale 3 di uscita commuti a livello alto; successivamente si misura il tempo necessario perché questo ritorni a livello basso. L'innesco deve essere provocato dal calcolatore per poter sincronizzare l'inizio della lettura con il fronte di salita dell'impulso.

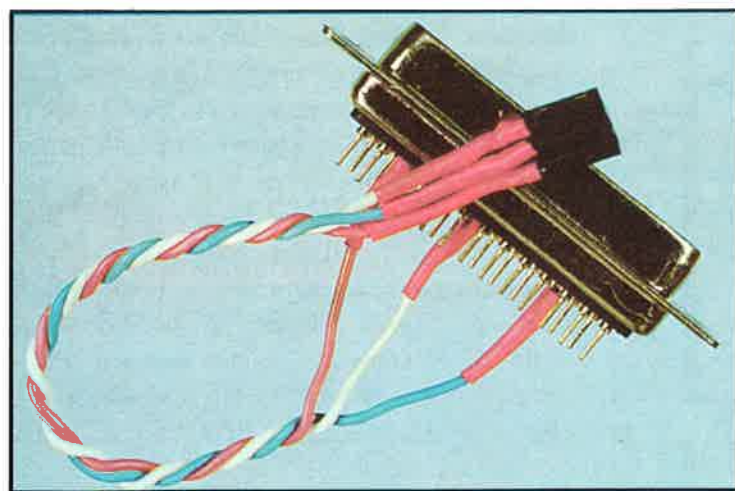
Anche se può apparire strano, il punto ideale per collegare il circuito è rappresentato dalla porta parallela utilizzata normalmente per il collegamento della stampante. Questa porta è dotata di diverse linee di ingresso e di uscita che vengono utilizzate per inizializzare la stampante, verificarne lo stato di attesa, rivelare la presenza della carta, ecc. Il collegamento alla porta parallela si esegue tramite il connettore CN1. Il terminale 2 di questo connettore corrisponde alla linea 16 (INIT) della porta Centronics, e deve essere collegato al terminale 2 di innesco di IC1 attraverso due invertitori la cui unica funzione è quella di rigenerare il livello del segnale stesso. Inviando su questa linea un breve segnale di inizializzazione si ottiene l'innesco del monostabile 555, la cui uscita sul terminale 3 commuta a livello alto e rimane in questa condizione finché non trascorre il tempo determinato da C5, R7 e dalla resistenza presente sui morsetti del connettore CN3.

Il circuito integrato IC1 è un temporizzatore 555 configurato come monostabile

Applicando l'uscita di IC1 all'ingresso di clock di IC2, si ottiene una variazione delle uscite di quest'ultimo che è rappresentata in questo diagramma dei tempi

Il terminale 3 di CN1 è collegato al terminale di uscita 3 di IC1, sempre attraverso i due invertitori, e corrisponde alla linea 11 (BUSY) della porta parallela. Se dopo l'innesco del monostabile si fa in modo che il calcolatore verifichi lo stato di questa linea ripetitivamente, si può sapere quando termina l'impulso generato da IC1 e, pertanto, la sua durata.

La massa del circuito è presente sul terminale 1 di CN1, che deve essere collegato alla massa della porta parallela attraverso la sua linea 20 (GND).

Il circuito del registro ha il compito di indicare l'attività del monitor biologico, attivando i diodi LED in modo sequenziale ogni volta che sull'uscita di IC1 viene generato un impulso. Al primo impulso si illumina D1, al secondo D2, e così via finché non risultano tutti accesi. Al successivo impulso viene spento D1, e l'operazione procede fino allo spegnimento di tutti i LED, per riprendere ancora dall'inizio. In questo modo si ha una chiara indicazione del corretto funzionamento del circuito.

Il connettore DB25 maschio deve essere collegato al connettore della porta Centronics del computer

Inviando sul terminale 2 di IC1 un breve impulso di inizializzazione si innesca il monostabile 555

Il circuito integrato IC2 (74HC174) è composto da sei bistabili di tipo D, con ingressi di cancellazione e di clock comuni. Sull'ingresso di clock viene applicato il segnale di uscita di IC1, che controlla il caricamento dei registri. L'ingresso di cancellazione viene collegato alla rete RC formata da C6 e R8; alimentando il circuito si provoca l'inizializzazione dei bistabili, che dura per l'intero tempo di carica del condensatore in modo che tutti presentino inizialmente sulle loro uscite un livello basso.

L'uscita di ogni bistabile deve essere collegata all'ingresso del successivo: l'uscita di Q1 all'ingresso di D2, l'uscita di Q2 all'ingresso di D3, Q3 a D4, Q4 a D5 e Q5 a D6 e l'uscita di Q6 deve essere collegata all'ingresso di D1 attraverso un invertitore. Il dato che si trova su D1, che è presente invertito anche su Q6, si sposta da un bistabile all'altro ad ogni impulso che arriva al suo ingresso di clock. Poiché inizialmente tutte le uscite si trovano a livello basso, su D1 è presente un livello alto; al primo impulso di clock Q1 passa a livello alto, mentre le altre uscite rimangono a livello basso. Nella transizione successiva commuta a livello alto anche Q2, per cui lo stesso livello è presenta anche su D1, D2 e D3.
Con i quattro successivi impulsi di clock tutte le sei uscite commutano a livello alto, per cui l'ingresso D1 torna a livello basso essendo collegato a Q6 tramite l'invertitore. Ai sei impulsi ancora successivi le uscite commutano tutte a livello basso, ripristinando la situazione iniziale. Per maggior chiarezza si può osservare il diagramma temporale di funzionamento di questo circuito riportato nella figura corrispondente.
Ad ogni uscita deve essere collegata una resistenza e un diodo LED per indicare in ogni momento in che stato si trova.
Con l'interruttore S1 si fornisce alimentazione al circuito; questa può essere erogata da un alimentatore a 5 Vcc oppure da tre pile da 1,5 V collegate in serie. Se possibile, è meglio servirsi di un alimentatore a 5 Vcc, che consente l'utilizzo di integrati della serie LS invece che della serie HC, e garantisce la stabilità del valore della tensione

Partendo da questo semplice programma in BASIC utilizzato per le prove è possibile elaborare degli applicativi più completi

```
1 REM** MONITOR BIOLOGICO
10 CLEAR
20 DEFINT G,X:G=0:X=0
30 DEFSTR A,B:A=CHR$(232):B=SPACE$(2)
40 COLOR 0,6,6:CLS:KEY OFF:WIDTH 80:DIM L(22)
50 DEF SEG=64:PA=PEEK(8)+256*(PEEK(9))
60 IF PA=0 THEN COLOR 7,0,0:CLS:GOTO 450
70 A=CHR$(232):B=SPACE$(2):G=PA+1:L=13:T=PA+2:LOCATE 1,23,0
80 PRINT STRING$(5,16);"MONITOR BIOLOGICO PER PC";STRING$(5,17);
90 LOCATE 2,37:PRINT CHR$(201);STRING$(5,205);CHR$(187)
100 FOR I=3 TO 22:LOCATE I,37:PRINT CHR$(204);B;A;B;CHR$(185):NEXT
110 LOCATE 23,37:PRINT CHR$(200);STRING$(5,205);CHR$(188)
120 LOCATE 3,31:PRINT"TESO";CHR$(206)
130 LOCATE 13,31:PRINT"MEDIO";CHR$(206)
140 LOCATE 23,31:PRINT"CALMO";CHR$(206):PLAY"L32"
150 FOR I=3 TO 22:LOCATE I,40:PRINT" ":P$="N"+STR$(60-2*I):PLAY P$:NEXT I
160 FOR I=22 TO 13 STEP-1:LOCATE I,40:PRINT A:P$="N"+STR$(60-2*I)
170 PLAY P$:LOCATE I,40:PRINT" ":NEXT I:LOCATE 13,40:PRINT A
180 LOCATE 24,17,1:PRINT"<ENTER>PER INIZIARE, O <ESC> PER USCIRE";
190 AA=INPUT$(1):C=ASC(AA):IF C=27 THEN 420 ELSE IF C<>13 THEN 190
200 LOCATE 24,17,0:PRINT SPACE$(46);
210 LOCATE 24,34:PRINT"INIZIALIZZAZIONE...";:Y=0:PLAY"L64":XF=1
220 GOSUB 340:IF X<100 THEN XF=XF+1:PLAY"L64;N32":GOTO220
230 FOR I=1 TO 5:GOSUB 340:PLAY"L64;N34":Y=Y+X:NEXT I
240 Y=Y/5:INC=Y/100:LOCATE 24,28:PRINT"PREMERE <ESC> PER USCIRE";
250 PLAY"L32":LOW=Y-10*INC:FOR I=3 TO 22:L(I)=LOW+(I-2)*INC:NEXT I
260 REM** MONITORIZZANDO
270 P$="N"+STR$(60-L*2):PLAY P$:IF X=0 THEN 380
280 AA=INKEY$:IF AA<>"" THEN C=ASC(AA):IF C=27 THEN 390
290 GOSUB 340
300 IF X>L(L) THEN LOCATE L,40:PRINT" ":L=L+1:IF L>22 THEN 390 ELSE LOCATE L,40:PRINT A
310 IF X<L(L) THEN L=L-1:IF L<3 THEN L=3 ELSE LOCATE L+1,40:PRINT" ":LOCATE L,40:PRINT A
320 GOTO 250
330 REM**ROUTINE DI CAMPIONATURA
340 X=0:Z=0
350 OUT T,0:OUT T,4
360 X=X+1:IF(INP(G) AND 128)=0 THEN 360
370 Z=Z+1:IF Z<XF THEN 350 ELSE LOCATE 1,60:PRINT X;:RETURN
380 REM**CHIUDERE LA SESSIONE
390 CLS:LOCATE 13,8,1
400 PRINT"SESSIONE TERMINATA.  PREMERE <ENTER> PER INIZIARE O <ESC> PER USCIRE";
410 AA=INPUT$(1):C=ASC(AA):IF C=13 THEN CLS:GOTO 50 ELSE IF C<>27 THEN 410
420 COLOR 7,0,0:CLS:LOCATE 10,28,1:PRINT"FINE DELLA SESSIONE"
430 LOCATE 13,1:END
440 REM**PORTA STANDARD NON TROVATA
450 LOCATE 10,27,1:PRINT"LA PORTA PER STAMPANTE 1 NON É DISPONIBILE"
```

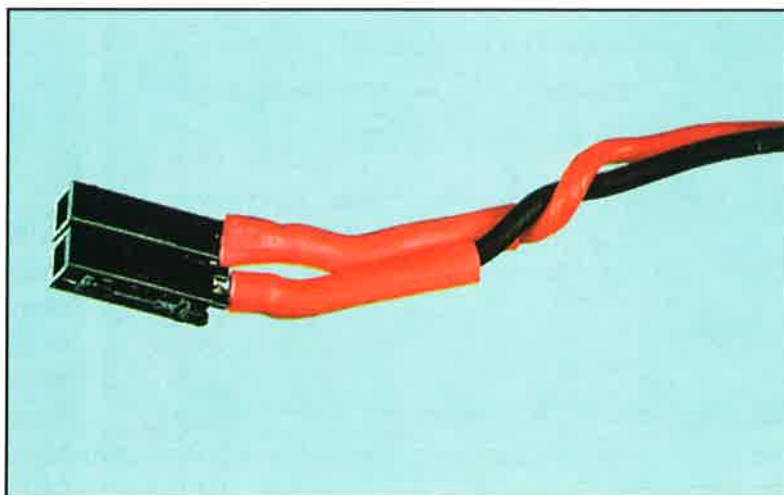
La durata dell'impulso generato dal temporizzatore 555 non è influenzata da possibili variazioni della tensione di alimentazione

di uscita. Se invece si preferisce alimentarlo con le pile, è necessario che i circuiti integrati IC1 e IC2 siano della famiglia HC, il cui assorbimento è inferiore rispetto agli integrati della serie LS.
La durata dell'impulso generato dal temporizzatore 555 non è influenzata dal tipo di alimentazione utilizzata, poiché il suo funzionamento non si basa su valori di tensione assoluti ma sul confronto percentuale dei livelli applicati ai suoi ingressi.

I diodi LED si accendono in modo sequenziale per ciascuna lettura eseguita dal calcolatore

MONTAGGIO E VERIFICA

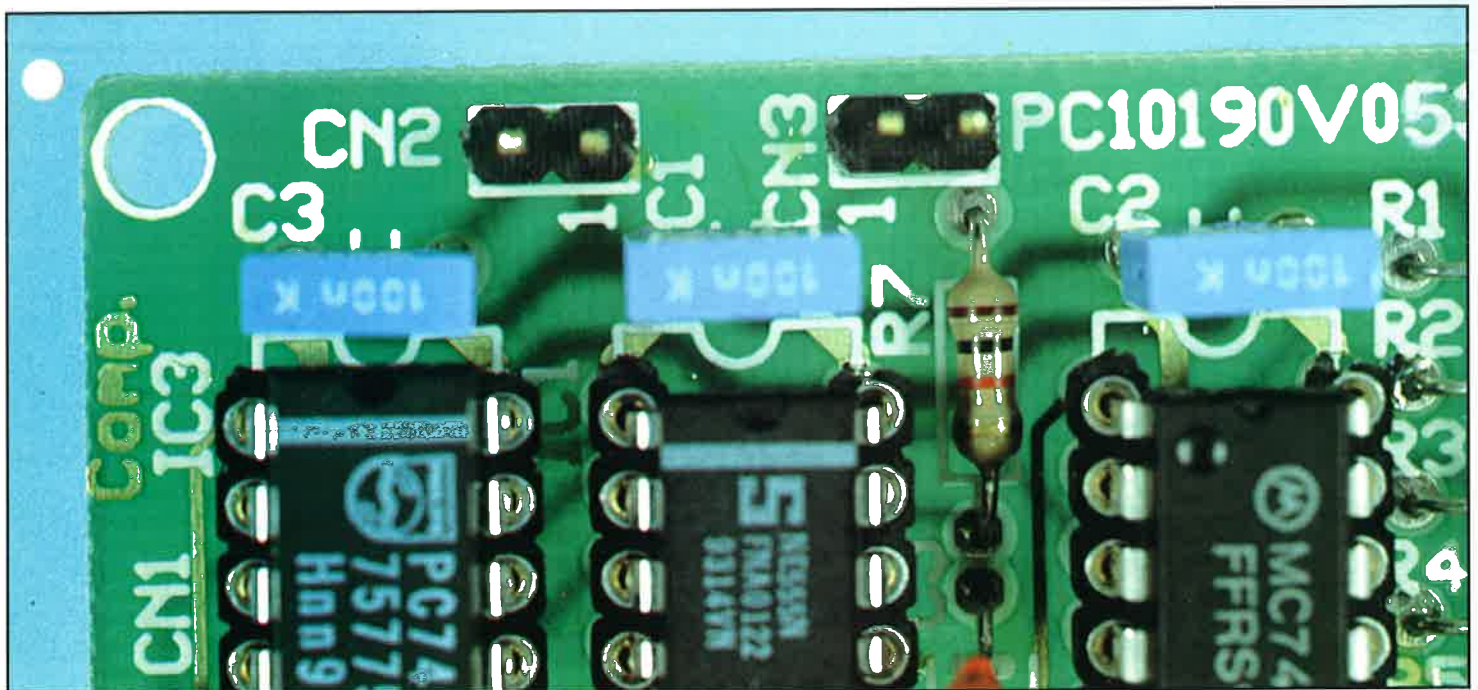
Dopo aver classificato i componenti necessari alla realizzazione del circuito, in accordo con l'elenco fornito al termine del capitolo, si può iniziare l'assemblaggio della scheda seguendo le indicazioni fornite dalle figure corrispondenti.
Inizialmente si possono montare le resistenze R7 e R8 (10 kΩ) e di seguito quelle che vanno da R1 a R6 (220 Ω). Durante il montaggio dei condensatori da C1 a C6 bisogna verificare l'orientamento dei condensatori polarizzati C5 e C6. I connettori CN1, CN2 e CN3 sono realizzati con dei terminali maschi per circuito stampato.
Al termine di queste prime operazioni si possono montare i diodi LED da D1 a D6, facendo attenzione all'orientamento indicato dalla serigrafia presente sullo stampato.
Infine si devono montare i circuiti integrati, verificando anche in questo caso con attenzione la loro posizione e il loro orientamento; è consigliabile, ma non indispensabile, utilizzare per questi ultimi degli zoccoli con terminali torniti, per evitare possibili danneggiamenti durante la fase di saldatura dei terminali.
Dopo aver completato il montaggio è opportuno ricontrollare la correttezza delle saldature e verificare che non si siano formati dei cortocircuiti tra le piste o tra i terminali degli integrati.
Poiché lo stampato è a doppia faccia con fori non metallizzati, è necessario saldare su entrambe le facce quei componenti che presentano dei collegamenti anche dal lato componenti.
Per realizzare i sensori di misura si

Ai due cavetti si devono saldare due terminali femmina e un sensore

possono utilizzare fogli di alluminio, come ad esempio una pellicola di domopack, ritagliando due rettangoli di dimensioni 2 x 5 cm circa che devono essere incollati su di una superficie non conduttrice (plastica, legno, ecc). Successivamente bisogna eseguire due fori sui lati corti di ciascun rettangolo di alluminio a circa 1 cm dal bordo, in modo da poter fissare delle viti M3. Il collegamento tra la scheda e i sensori in alluminio viene realizzato con due terminali femmina, ai quali devono essere saldati due cavetti di lunghezza compresa tra 8 e 10 cm; gli estremi ancora liberi di questi ultimi devono essere fissati ai sensori per mezzo delle viti M3 citate in precedenza, verificando che si formi un buon contatto elettrico. I terminali femmina devono invece essere collegati al connettore CN3 presente sulla scheda.

Il circuito integrato 555 viene utilizzato come generatore di impulsi

Gli elementi dotati di collegamenti anche dal lato componenti devono essere saldati su entrambe le facce dello stampato

Se il circuito viene alimentato con delle pile, è consigliabile utilizzare un portapile e un connettore a clip, collegando in serie ad uno dei cavetti di quest'ultimo l'interruttore S1; l'alimentazione vie-

I 5 V di alimentazione vengono forniti tramite il connettore CN2

Elenco Componenti

Resistenze

R1÷R6 = 220 Ω

R7, R8 = 10 kΩ

Condensatori

C1÷C3 = 100 nF

C4 = 10 nF

C5 = 1 μF, 16 V tantalio

C6 = 47 μF, 16 V elettrolitico

Semiconduttori

D1÷D6 = Diodi LED rossi 3 mm

IC1 = NE555

IC2 = 74HC174

IC3 = 74HC04

Varie

7 terminali maschi per c.s.

7 terminali femmina per c.s.

38 terminali torniti per zoccoli

1 interruttore S1

1 connettore DB25 maschio

2 faston per viti M3

2 viti M3

Cavo per trasmissione dati con almeno tre conduttori

Cavetti colorati vari

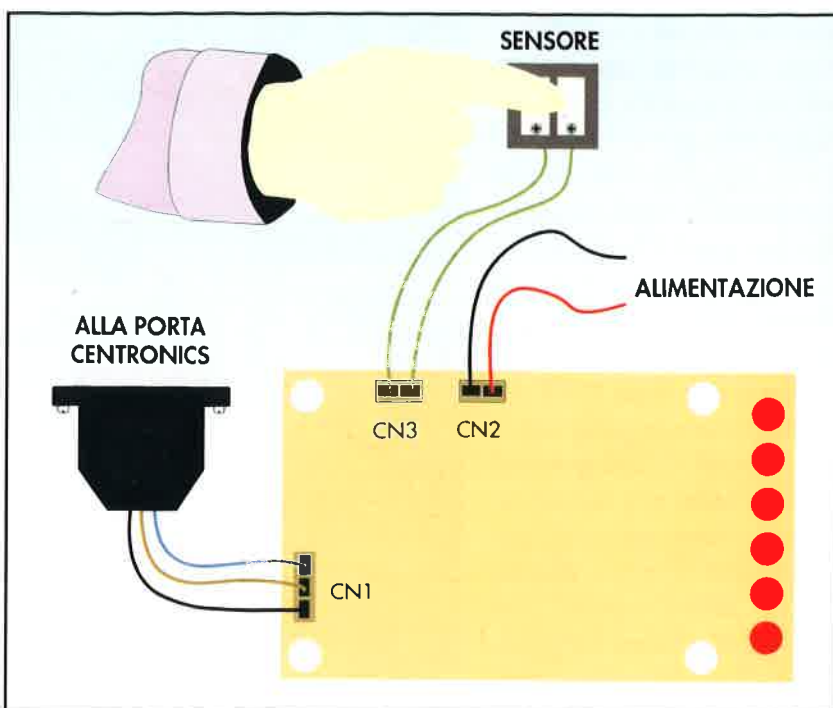
1 circuito stampato

PC10190V0538

ne fornita al circuito tramite il connettore CN2.

Nella figura si può osservare il cavo di collegamento alla porta parallela del PC. Per realizzarlo bisogna utilizzare un connettore tipo D a 25 terminali maschi per il collegamento al PC, e tre terminali femmina per il collegamento alla scheda (CN1).

Come indicato nella figura corrispondente, il terminale 1 di CN1 deve essere collegato al terminale 20 del connettore DB25, il terminale 2 di CN1 al terminale 16 del connettore DB25, e il terminale 3 di CN1 al terminale 11 del connettore DB25.

A questo punto, dopo aver caricato il programma sul calcolatore, si può iniziare a utilizzare il monitor biologico, avendo sempre la precauzione di scollegare l'alimentazione sia del PC che della scheda prima di collegarli tra loro, poiché si potrebbero danneggiare sia la porta parallela che la scheda appena realizzata.

Collegamenti esterni al circuito stampato

Il circuito, quando sono terminate tutte le operazioni di montaggio e verifica, può essere inserito all'interno di un contenitore plastico